

디지털트윈 기술 동향과 전망

신상희 가이아쓰리디 대표이사 (shshin@gaia3d.com)

디지털트윈이란?

위키피디아(wikipedia)는 디지털트윈을 ‘컴퓨터에 현실 속 사물의 쌍둥이를 만들고, 현실에서 발생할 수 있는 상황을 컴퓨터로 시뮬레이션함으로써 결과를 예측하는 기술’이라고 정의하고 있다. 이외에도 디지털트윈에 관한 여러 정의가 있지만 대부분 ‘가상 세계에 현실 세계를 모사’, ‘가상 세계에서 분석, 최적화, 시뮬레이션 수행’, ‘가상 세계 실험결과를 현실 세계에 반영’이라는 공통의 요소를 담고 있다.

디지털트윈 사용자는 현실 세계에서 비용과 시간이 많이 들거나 수행 불가능한 각종 실험을 가상 세계에서 실행해 봄으로써 다양한 혜택을 얻을 수 있다. 실험 조건에 따라 결과값이 어떻게 바뀌는지 시뮬레이션할 수 있으며, 시나리오에 따른 리허설로 관련 영향을 미리 파악할 수 있다. 가상 세계에서 수행한 일련의 실험과 시뮬레이션 결과는 현실 세계에 다시 반영되어 리스크 식별, 비용 절감, 생산성 향상, 공정 효율화, 관련자 소통 증진 등에 기여하게 된다.

디지털트윈의 확장

디지털트윈은 본래 제조업에 뿌리를 두고 있다. ‘디지털트윈’ 용어를 최초로 사용한 미국 항공우주국(NASA)의 존 비커스(John Vickers)나 디지털트윈 개념을 정립한 플로리다 공대의 마이클 그리브스(Michael Grieves) 모두 제조업 관점에서 디지털트윈을 설명하고 있다. 제조업은 각종 기기의 상태와 현황을 모니터링하는 감지기술과 작업자의 명령을 기기에 반영할 수 있는 제어기술이 발달되어 있다. 즉, 제조업에서는 ‘환경 통제(environment control)’가 가능하며, 이런 제조업의 특성이 디지털트윈을 빠르게 도입하는 데 중요한 역할을 했을 것으로 추정된다.

디지털트윈은 여전히 제조업에서 강세를 보이고 있지만 최근에는 보건의료, 도시 및 국토 관리까지 그 응용 분야를 넓히고 있다. 2019년 에이든 풀러(Aidan Fuller) 등의 조사에 따르면, 디지털트윈 관련 논문 중 66%가 제조업, 19%가 스마트시티, 그리고 나머지 15%가 보건의료 분야를 다루고 있다. 과거와 달리 스마트시티와 보건의료 분야 논문이 급증하고 있는 추세다.

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

도시 및 국토 관리, 스마트시티에서의 디지털트윈 도입과 활용은 관련 기술의 발전에 힘입은 바가 크다. 사물인터넷(IoT), CCTV, 드론, 라이다(LiDAR), 자율주행차, 모바일 맵핑 시스템(MMS), 지구관측 위성, 스마트폰의 보급과 확산은 과거보다 더 빠르고 저렴한 비용으로 지구상의 각종 정보를 취득할 수 있게 하였다. 클라우드 컴퓨팅, 에지 컴퓨팅(edge computing), 인터넷과 5G를 활용한 연결성은 관련 정보의 실시간 활용성을 극대화하고 있으며, 데이터 분석, 인공지능 그리고 시각화 기술의 발전은 데이터의 빠른 처리와 최적화, 의사결정을 가능케 하고 있다. 현실 세계의 객체와 현상을 센서를 통해 모니터링하고 모델링함으로써 가상 세계에 빠르게 재현해낼 수 있는 이러한 기술의 발전은 도시 및 국토문제 또한 디지털트윈을 통해 분석하고 해결할 수 있으리라는 희망과 자신감을 제공했다. 이 글에서 언급하는 디지털트윈 또한 주로 도시와 국토 관리 분야의 디지털트윈을 의미한다.

디지털트윈 관련 동향

디지털트윈을 활용한 도시 및 국토 관리는 전 세계적인 관심사로, 표준화를 포함한 다양한 연구와 시도가 여러 정부와 기구에서 이뤄지고 있다. 여기서는 주로 국제기구와 외국 사례를 중심으로 디지털트윈 관련 동향을 살펴보고자 한다.

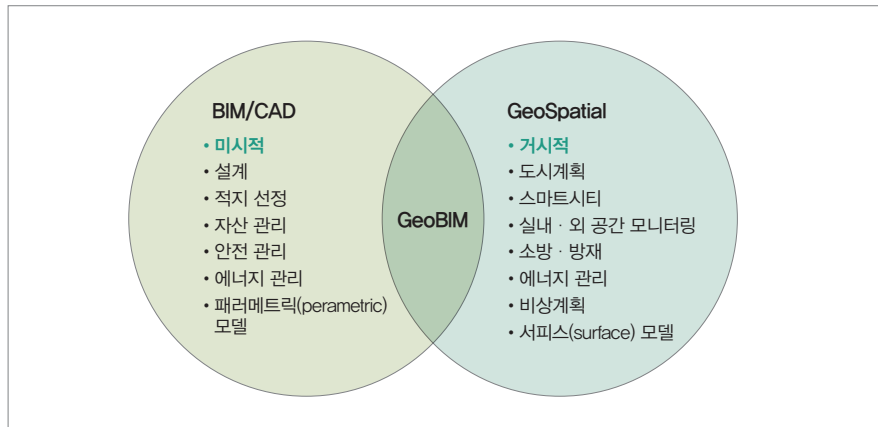
디지털트윈 데이터 표준화와 관련해서는 공간정보 국제표준화기구인 OGC(Open Geospatial Consortium)가 많은 노력을 기울이고 있다. 우선, OGC CityGML은 디지털트윈의 근간 모델이자 교환 포맷으로 널리 활용되고 있다. CityGML은 가상의 3차원 도시 및 자연에 관한 정보 모델로서 표현(representation), 저장(storage), 교환(exchange)을 위한 OGC 표준이다. CityGML은 도시와 자연환경에서 볼 수 있는 객체들을 의미론적(semantic) 정보와 함께 3차원 벡터 형태로 모델링한다. 최근에는 CityGML 3.0 사양이 제안되어 표준 승인을 위한 논의가 진행 중이다.

CityGML이 3차원 객체에 관한 모델링 표준이라면, OGC SensorThings API는 센서에서 들어오는 실시간 데이터를 활용할 수 있는 표준방법을 제공한다. SensorThings API 표준에서는 공간정보를 기반으로 사물인터넷(IoT), 데이터, 애플리케이션을 웹에서 상호 연결할 수 있는 개방형 방법을 제시하고 있다. 이(異)기종의 센서에서 들어오는 다양한 관측 데이터를 표준화된 방식으로 공간정보의 맥락 속에서 관리, 추출할 수 있는 것이 커다란 장점이다.

BIM(Building Information Modeling) 또한 디지털트윈의 주요한 데이터다. 다만, BIM은 일반적으로 절대 좌표를 갖지 않는 단일 건축물 위주의 정보이기 때문에 이를 공간적 맥락에서 통합적으로 활용하는 것은 새로운 도전에 해당한다. OGC는 BIM 분야 국제표준을 주도하는 buildingSMART와 함께, BIM과 GIS 데이터의 통합을 위한 다양한 활동을 전개 중이다. 두 기구는 2017년에 IDBE(Integrated Digital Built Environment Joint Working Group)를 만들어 BIM과 GIS의 통합을 위한 공동 작업을 진행 중이며,

2020년 4월에 그 중간 결과물을 ‘토론 문서(discussion paper)’로 발표하기도 하였다. 두 기구는 이런 노력을 통해 실내와 실외, 지하와 지상공간을 하나의 통합된 방식으로 디지털트윈에 재현하고자 한다. 유럽의 정부 간 공간정보 연구단체인 EuroSDR 또한 BIM과 GIS를 통합하는 GeoBIM 연구에 열심이다. 영역은 좁지만 세밀도가 높고 정보가 풍부한 BIM을 어떻게 광역적이며 세밀도가 낮은 공간정보와 조화롭게 활용할 것인가가 주요 연구 주제다(〈그림 1〉 참조).

〈그림 1〉 GeoBIM 개념



정부 차원에서 디지털트윈 도입에 적극적인 나라는 영국이다. 우리나라의 국토지리정보원과 같은 기능을 하는 Ordnance Survey는 2017년에 이미 ‘디지털트윈은 새로운 스마트시티’라는 비전을 제시하고 관련된 다양한 사업활동을 전개하고 있다. 영국정부 또한 2018년에 케임브리지대학 디지털 빌트 브리튼 센터(Centre for Digital Built Britain)에 국가 디지털트윈 프로그램(National Digital Twin Programme: NDTP)을 설치하고 국가적 차원의 디지털트윈 적용 전략을 연구하고 있다.

영국의 국가 디지털트윈 프로그램에서는 국가 디지털트윈 구현을 위한 9개 항목의 ‘쌍둥이 원칙(gemini principles)’을 제정하고 발표하였으며, 이 쌍둥이 원칙은 크게 목적성(purpose), 신뢰성(trust), 기능성(function)의 3개 분야로 구성되어 있다. 쌍둥이 원칙은 목적성 분야 원칙으로 ① 공공성(public good), ② 가치 창출(value creation), ③ 통찰력(insight)을, 신뢰성 분야 원칙으로 ④ 보안성(security), ⑤ 개방성(openness), ⑥ 품질(quality)을, 그리고 기능성 분야 원칙으로 ⑦ 연합(federation), ⑧ 선별(curation), ⑨ 진화(evolution)를 제시하고 있다.

국가 디지털트윈 프로그램은 그 이름이 암시하듯 디지털트윈의 범위를 단일 건물, 단지, 도시를 넘어 지역과 국가 차원으로 확장하고 있다. 이 프로그램에서는 공간규모에 따라 달리 요구되는 디지털트윈 데이터의 종류, 정확도, 세밀도 등을 연구하고, 공간규모와

〈그림 2〉 쌍둥이 원칙(gemini principles)

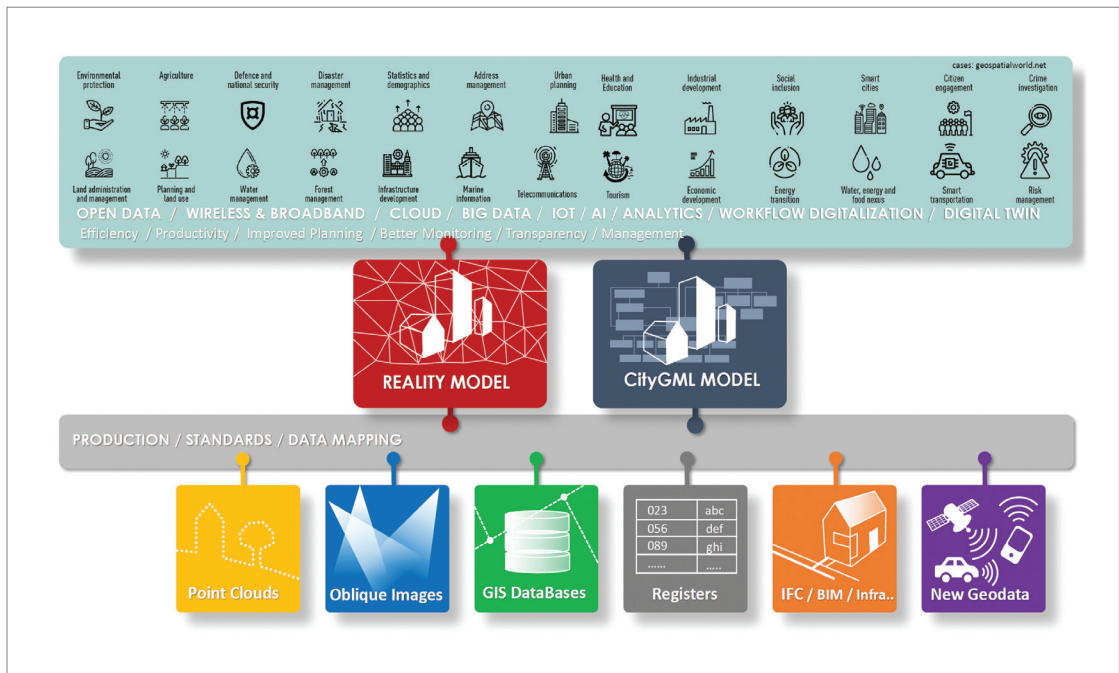
목적성 분명한 목적을 가져야 함	공익성 분명한 공공의 이익을 제공하는 데 기여	가치 창출 실질적 가치 창출 및 성과 개선	통찰력 의사결정에 기여하는 통찰력 제공
신뢰성 신뢰할 수 있어야 함	보안성 자체 보안 강화	개방성 최대한 많은 사용자에게 개방	품질 향상된 품질의 데이터 제공
가능성 효과적으로 기능해야 함	연합 다양한 데이터, 시스템과 연결가능한 표준 준수	선별 명확한 소유권, 규제 및 거버넌스	진화 기술과 사회 발전에 따라 변형, 확장 가능

자료: <https://www.cdcb.cam.ac.uk/DFTG/GeminiPrinciples> (2021년 3월 22일 검색)을 저자가 재작성.

관계없이 통합적으로 디지털트윈을 활용하려 시도 중이다.

핀란드 헬싱키의 ‘Helsinki 3D+ Digital Twin’ 프로젝트는 도시 관리 분야에서 디지털트윈 활용의 모범적인 사례를 보여준다. 헬싱키 시청은 이 프로젝트 전반에 걸쳐 OGC 표준을 성공적으로 적용하였다. 객체 모델은 CityGML을, 센서데이터는 SensorThings API를 이용하여 디지털트윈 플랫폼을 구현하였으며, 이를 통해 단순 3차원 가시화를 넘

〈그림 3〉 Helsinki 3D+ Digital Twin



자료: https://inspire.ec.europa.eu/sites/default/files/helsinki_3d_jarmo_suomisto.pdf (2021년 3월 22일 검색).

어선 다양한 응용을 보여주고 있다. ‘객체는 도시의 과거이고, 센서데이터는 도시의 현재이며, 디지털트윈은 도시의 미래다’를 비전으로 ‘Helsinki 3D+ Digital Twin’ 플랫폼을 이용해 태양광 분석, 기후변화 대응, 도시계획에 시민 참여 등을 수행하고 있다. 헬싱키 시청은 맹목적으로 표준을 수용하지 않고 필요에 따라서는 ‘현실 모델(reality model)’을 목적에 맞게 사용하기도 한다.

호주의 뉴 사우스 웨일스(New South Wales) 정부는 ‘공간 디지털트윈(spatial digital twin)’이라는 이름의 플랫폼을 2020년 2월에 개통하고 시드니 서부 지역의 도시와 자연을 4차원(3차원 + 시간)으로 서비스하기 시작했다. 일반적인 3차원 서비스를 넘어 각종 데이터를 시계열적으로 서비스함으로써 시간에 따라 도시와 자연이 어떻게 변화했는지 살펴볼 수 있는 특징이 있다. 이 서비스는 별도의 소프트웨어 없이 웹에서 바로 이용할 수 있으며, 공공데이터와 민간데이터를 함께 제공하면서도 보안성을 확보할 수 있는 시스템으로 구현되었다. 뉴 사우스 웨일스 정부는 다음 단계 프로젝트를 통해 시드니 동부 지역을 포함한 더 넓은 지역을 서비스할 계획이며, 이를 통해 데이터 기반 도시 관리 플랫폼으로 이 서비스를 활용할 목표를 가지고 있다.

싱가포르 정부의 버추얼 싱가포르(virtual singapore)는 한때 전 세계에서 디지털트윈 구현의 모범적인 사례로 꼽혔으나, 최근에는 그 평가가 달라지고 있다. 싱가포르 정부는 2014년부터 2018년까지 약 7300만 달러를 투자하여 싱가포르의 모든 구조물을 3차원으로 구축한 디지털트윈을 구현한 바 있다. 버추얼 싱가포르는 건축계획 시 주변 경관과의 조화, 교통에 미치는 영향, 일조권 침해 여부 등의 사전 영향 항목을 빠르고 정교하게 파악할 수 있는 기능을 갖추고 있었다. 더불어 도시 내 다양한 변수에 대한 시뮬레이션을 직관적으로 시각화하여 제공하기도 하였다. 하지만 버추얼 싱가포르는 특정 회사와 기술에 대한 종속성, 확장성과 커스터마이징의 한계, 표준문제 등이 불거지면서 최근에는 그 활용과 홍보가 많이 줄어든 상황이다.

디지털트윈 도입이 활발해짐에 따라 디지털트윈 충실도(fidelity)와 성숙도(maturity level)에 관한 관심도 높아지고 있다. 디지털트윈 충실도는 디지털트윈 모델로 표현된 가상 객체가 원래의 물리적 객체와 얼마나 잘 부합하느냐로 정의할 수 있다. 디지털트윈 충실도는 특성화 충실도와 시각화 충실도로 나뉜다. 특성화 충실도는 가상 객체가 얼마나 정교하게 물리적 개체의 행위 동작에 부합하는지가 기준이 되며, 시각화 충실도는 디지털트윈이 물리적 개체와 얼마나 비슷하게 보이는지가 기준이 된다.

디지털트윈 성숙도 모델은 디지털트윈의 실현 수준이 어느 정도인지 이해하기 위한 평가 도구로, 디지털트윈의 더 높은 수준을 위한 지속적인 개선계획을 수립하는 기준이 된다. 성숙도 모형으로는 가트너의 3단계 모형, 정보통신기획평가원의 5단계 모형, IET(The Institute of Engineering and Technology)에서 제안한 6단계 모형 등이 있다 (<표 1> 참조).

〈표 1〉 정보통신기획평가원이 정의한 성숙도 모형

기술단계	정의	설명
5단계	자율 디지털트윈(autonomous)	개별 및 복합 디지털트윈에서 자율적으로 문제점을 인지하고 해결하여 물리 대상 최적화
4단계	연합 디지털트윈(federated)	최적화된 개별 물리 대상들이 상호 연계된 복합 디지털트윈을 재구성 및 물리 대상 상호 운영의 최적화
3단계	모의 디지털트윈(modeling & simulation)	디지털트윈 모의결과를 적용한 물리 대상 최적화
2단계	관제 디지털트윈(monitoring)	디지털트윈 기반 물리 대상 모니터링 및 관계분석을 통한 제어
1단계	모사 디지털트윈(mirroring)	물리 대상을 디지털트윈으로 복제

자료: 정득영, 김상태, 김연배 2021.

앞으로의 전망

산업적 측면에서 디지털트윈은 한동안 성장세를 이어갈 것으로 예상된다. Markets and Markets(2020)에 따르면, 디지털트윈 세계시장은 2020년 31억 달러에서 연평균 58%의 높은 성장률로 2026년에는 482억 달러에 이를 것으로 전망되었다. Roots Analysis(2019)는 디지털트윈 시장의 연평균 성장률로 23.8%를 예측하였고, Technavio(2019)는 37.7%의 높은 성장률을 제시하였다. CAD 소프트웨어 회사인 Bentley Systems 연구소에서도 2018년부터 2025년까지 7년간 디지털트윈 시장이 10배 가량 성장할 것이라고 추정하였다. 가트너는 2020년 EU INSPIRE 콘퍼런스에서 디지털트윈이 전 세계 공간정보 시장에서 주류로 받아들여지는 데 대략 5년에서 10년이 걸릴 것으로 예측한 바 있다. 한정된 공간을 대상으로 하는 제조업과 달리 도시, 국토 분야에서는 디지털트윈의 근간이 되는 데이터의 디지털 전환에 막대한 시간과 비용이 소요되기 때문이다. 효율성과 원가절감을 최우선으로 하는 민간 제조업과 달리 도시, 국토 관리는 공공 분야로서 정치적 판단과 예산 투입의 우선순위를 따질 수밖에 없다는 점도 고려해야 한다.

기술적으로는 디지털트윈을 경험하는 다양한 매체와 방식이 개발될 것으로 예상된다. 현재는 주로 개인용 컴퓨터, 모바일 기기를 통해 디지털트윈을 활용하고 경험하고 있지만, 향후에는 가상현실(VR), 증강현실(AR), 혼합현실(MR) 등을 활용한 디지털트윈의 이용과 경험이 광범위하게 개발되고 확산될 것으로 보인다. 더불어, 디지털트윈과 MR을 활용한 초보자 교육, 전문가의 원격지원 등의 기술과 서비스도 개발될 것으로 예측된다. 궁극적으로는 디지털트윈 자체가 하나의 세상이자 실체가 되어 가상공간에서 교류하고 가치를 창출하는 메타버스(metaverse) 플랫폼으로 진화할 것으로 예측된다. 실제로 2021년 3월 9일과 10일 이틀에 걸쳐 가상공간에서 개최된 미국 GEOINT 심포지엄의 주제가 ‘The Geospatial Metaverse – Infrastructure, Tradecraft and Applications’였다.

맺음말

디지털트윈은 효율적인 국토 관리와 인프라 최적화, 빠른 상황 인지와 대응성 향상, 시뮬레이션을 통한 방재 역량 제고, 여러 분야 간의 협력 증진, 자산과 시설물 관리비용 감소

등과 같은 효과를 가져다줄 것으로 기대된다. 하지만 디지털트윈 구현은 그 장밋빛 이미지와 달리 여러 우려와 위험이 함께 하는, 쉽지 않은 긴 여정이라는 점을 잊지 말아야 한다. 디지털트윈에 대한 과대 홍보와 과도한 기대, 여러 분야 시스템과 정보를 통합했을 때 발생하는 디지털트윈 구축 및 관리비용의 증가, 해킹 당했을 때 발생할 수 있는 사이버 보안문제, 부족한 전문인력, 미흡한 표준화와 산업계 협력 등이 디지털트윈의 위험요소로 지적되고 있다.

디지털트윈의 진정한 가치는 다른 분야와 연계, 융합될 때 발휘되므로, 개별 분야 위주의 시각에서 벗어나 전체를 아울러 보는 통합적 관점과 실행이 필요하다는 점 또한 잊지 말아야 한다. 더불어, 삶의 질에 큰 영향을 끼치지만 계량화하기 어려운 공동체 의식, 교우 관계, 소속감, 정주의식, 안정적 주거와 같은 문제를 어떻게 디지털트윈에 녹여낼 것인가도 중요한 주제가 될 것이다. 🌱

참고문헌

- 김용운, 윤상근, 이현정, 한순홍. 2021. 디지털트윈의 꿈(한글 요약). 대전: 한국전자통신연구원.
- 박중현, 이용태, 김재철, 정우석, 이미숙, 홍상기, 조성균 외. 2021. 디지털트윈 기술 보고서. 대전: 한국전자통신연구원.
- 신상희. 2020. 스마트시티를 위한 디지털트윈 - 공간정보를 중심으로. 한국정보통신기술협회 아카데미, 10월 30일. <https://www.slideshare.net/endofcap/ss-239025536> (2021년 3월 15일 검색).
- _____. 2021. 공간규모별 디지털트윈 활용 사례. 국토연구원 세미나 자료, 2월 9일. <https://www.slideshare.net/endofcap/ss-242863392> (2021년 3월 15일 검색).
- 위키피디아. 디지털트윈. <https://ko.wikipedia.org/wiki/디지털트윈> (2021년 3월 3일 검색).
- 이광기, 유호동, 김탁곤. 2018. 디지털트윈 기술 발전 방향. KEIT PD 이슈리포트 2018-9월호. 대구: 한국산업기술평가관리원.
- 정득영, 김상태, 김연배. 2021. 디지털트윈의 기술적 정의와 세부적 발전 5단계(level) 모델. 주간기술동향 1983호. 대전: 정보통신기획평가원.
- 허용. 2020. 정보통신산업 활성화를 위한 도시공간 데이터 개방 · 공유. Working Paper 19-18. 세종: 국토연구원.
- 3D geoinformation. EuroSDR Geo BIM project. <https://3d.bk.tudelft.nl/projects/eurosd-geobim/> (2021년 3월 3일 검색).
- Centre for Digital Built Britain. Gemini Principles. <https://www.cdbb.cam.ac.uk/DFTG/GeminiPrinciples> (2021년 3월 22일 검색).
- CSIRO. 2020. New digital twin to better plan, design and manage Australia's cities. <https://www.csiro.au/en/News/News-releases/2020/New-digital-twin-for-NSW> (2021년 3월 3일 검색).
- Fuller, A., Fan, Z., Day, C., and Barlow, C. 2019. Digital Twin: Enabling Technologies, Challenges and Open Research. *IEEE Access* 8: 108952-108971. <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1911/1911.01276.pdf> (2021년 3월 3일 검색).
- INSPIRE(Infrastructure for Spatial Information in Europe). HELSINKI 3D+ Digital Twins of a City. https://inspire.ec.europa.eu/sites/default/files/helsinki_3d_jarmo_suomisto.pdf (2021년 3월 22일 검색).
- The Institute of Engineering and Technology. Digital twins for the built environment. <https://www.theiet.org/media/4719/digital-twins-for-the-built-environment.pdf> (2021년 3월 4일 검색).
- OGC Making Location Count. 2020. OGC and building SMART International publish discussion paper on the integration of BIM and GIS. <https://www.ogc.org/pressroom/pressreleases/3187> (2021년 3월 3일 검색).
- _____. CityGML. <https://www.ogc.org/standards/citygml> (2021년 3월 3일 검색).
- Ruohomäki, T., Airaksinen, E., Huuska, P., Kesäniemi, O., Martikka, M., and Suomisto, J. 2018. Smart City Platform Enabling Digital Twin. In *2018 International Conference on Intelligent Systems (IS)*: 155-161. https://www.researchgate.net/publication/331742851_Smart_City_Platform_Enabling_Digital_Twin (2021년 3월 3일 검색).
- USGIF. The Geospatial Metaverse - Infrastructure, Tradecraft and Applications. <https://usgif.org/2021-the-geospatial-metaverse/> (2021년 3월 4일 검색).
- World Economic Forum. 2021. Are virtual twins key to achieving world's sustainability goals? <https://www.weforum.org/agenda/2021/01/virtual-twin-technology-sustainability-goals/> (2021년 3월 4일 검색).